

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

(11) Publication number : **08-022324**

(43) Date of publication of application : **23.01.1996**

(51) Int. Cl.

G05D 1/02

B25J 5/00

B25J 9/10

G05B 19/4093

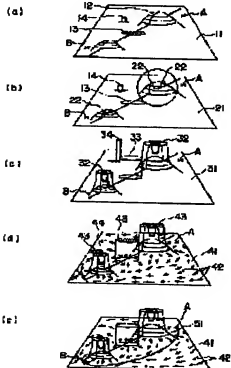
(21) Application number : **06-153799**

(22) Date of filing : **05.07.1994**

(71) Applicant : **MITSUBISHI HEAVY IND LTD**

(72) Inventor : **OMICHI TAKEO
FUKUYA YASUTAKA
HAYASHI TATSUNORI**

(54) METHOD FOR GENERATING TRACK OF MOVING ROBOT



(57) Abstract:

PURPOSE: To generate the track of the robot in three-dimensional environment wherein undulations of hills, differences in level, a pond, etc., are present and also generate a track corresponding to the difference in the moving ability of the robot.

CONSTITUTION: The track of the moving robot is generated in five stages of procedures. The spatial information distribution of an original map 11 having topology and obstacles is inputted to the robot first. Then a robot map 21 showing whether or not the robot can move to respective points is generated from the original map 11 by a function with which the possibility of movement viewed from the robot can be judged. The robot map 21 is properly emphasized to generate an immobility distribution figure 31 from which the easiness of the movement of the robot and the degree of danger can be judged. Then the slope of the immobility distribution figure 31 and attractive force generated at a target point B are put together at respective points to generate a potential force figure 41. In the potential force figure 41, a curve is drawn from an immobile area 43 to the target point B along a potential force 42 and regarded as a track 51.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.05.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the

examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3051641

[Date of registration]

31.03.2000

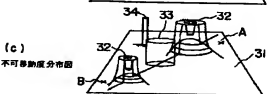
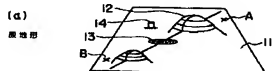
[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

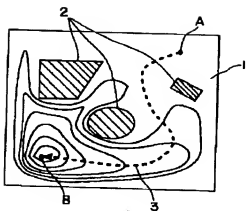
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

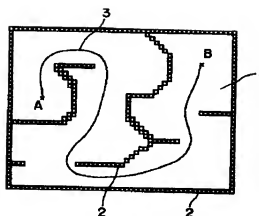
31.03.2006

DRAWINGS





[Drawing 5]



[Drawing 6]

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to a mobile robot's orbital generation method.

[0002]

[Description of the Prior Art] When generating a mobile robot's orbit conventionally, as shown in drawing 5 and drawing 6, regardless of a robot's capacity, a suitable numeric value (potential) is artificially set as the existence region of an obstruction 2 in the two-dimensional plane region 1, and the orbit 3 from the start point A to the target point B is searched for using Laplace's equation based on this. In addition, when, as for drawing 5, two or more places are dotted with the obstruction 2, drawing 6 shows an example in case an obstruction 2 is a wall.

[0003] The object domain of trajectory generation is restricted to the two-dimensional flat surface like the two-dimensional plane region 1, and this approach is not taking into consideration three-dimension-fields, such as boom hoisting of the crest in an outdoor environment. Moreover, if human being performs decision whether a robot is movable and it is judged to an obstruction 2 that migration is impossible, the suitable numeric value would be defined artificially and it will be set as the existence region of an obstruction 2.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The trajectory generation in a three-dimension-environment (existing environments, such as a crest, a slope, a cliff, a level difference, a pond, and a river) which is represented with the above-mentioned conventional orbital generation method on the outdoors is impossible. Moreover, fixed potential was artificially set as the part of an obstruction, and since how to make an orbit on which a robot advances in the direction where potential is low was adopted, the orbit had the fault by which the same thing is generated to all robots regardless of a robot's capacity, and the orbit into which the high robot of migration capacity bypasses an obstruction greatly specially is generated.

[0005] This invention was made in view of the above-mentioned actual condition, and it aims at offering the orbital generation method of the mobile robot which can perform trajectory generation according to the difference in the migration capacity resulting from a robot's migration format while it can perform a robot's trajectory generation in the three-dimension-environment which exists [pond / boom hoisting of a crest and a slant face, / a level difference, a pond].

[0006]

[Means for Solving the Problem] The orbital generation method of the mobile robot concerning this invention The 1st step which inputs the space information distribution with the geographical feature of the Hara map, and an obstruction into a robot, The 2nd step which generates the robot map showing the propriety of migration of an every place point from the function which sees from a robot based on the

information on the above-mentioned Hara map, and can judge the possibility of migration, The 3rd step which generates the improper mobility distribution which emphasizes the above-mentioned robot map proper and can judge danger in the ease of carrying out of migration of a robot, The 4th step which compounds the suction force which the improper mobility information inclination and target point in the above-mentioned improper mobility distribution were made to generate at an every place point, and generates a potential force, A curve is drawn in accordance with the potential force which goes to the above-mentioned target point from a start point, and it is characterized by providing the 5th step which makes this an orbit.

[0007]

[Function]

(1) The 1st step (input of the Hara map)

The Hara map is the information which human being gives to a robot, is a map of the form which human being can understand, and has the attribute information Attr (x_i and y_i) which describes of what kind of property the height information h (x_i and y_i) in the point (x_i and y_i) of arbitration and its location are things. The information on a start point and a target point is also put in into attribute information.

[0008] (2) The 2nd step (generation of a robot map)

Conversion for human being's view of the world (form which a robot can understand) of a robot from a view of the world (form which human being can understand) is performed, information required for migration of a robot is extracted, and a robot map is generated.

[0009] (3) The 3rd step (generation of improper mobility distribution)

Although information required for migration of a robot was extracted in the phase of the above-mentioned robot map generation, evaluation of whether this is what it is hard to move how much to the capacity which a robot has is not made.

[0010] Therefore, on the basis of each robot's capacity, this step evaluates whether it is what how many extracted information cannot move easily, evaluates and generates improper mobility distribution. The numeric value which shows the difficulty of carrying out of migration of a robot is improper mobility.

[0011] (4) The 4th step (generation of a potential force)

By calculating to the numerical distribution set up by the above-mentioned improper mobility distribution, the flow field from a migration improper field to a target point, i.e., a potential force, is generated.

[0012] (5) The 5th step (orbital generation)

The flow field generated in the above-mentioned potential force generation processing is followed in accordance with the flow from the start point, and the path in which it results [from a start point] to a target point, i.e., a robot's orbit, is generated by connecting the locus with a line.

[0013] The above (1) The orbit according to the difference in the migration capacity which can generate a robot's orbit in the three-dimension-environment which exists [pond / boom hoisting of a crest, a slant face, etc., / a level difference, a pond], and originates in a robot's migration format with the procedure of - (5) is generable.

[0014]

[Example] Hereafter, one example of this invention is explained with reference to a drawing. The orbital generation method of the mobile robot concerning this invention consists of five steps of trajectory generation procedures shown in following (1) - (5), and performs trajectory generation using processing units, such as CPU.

[0015] (1) Input the space information distribution (Hara map) with geographical feature and an obstruction into the input robot of the Hara map.

(2) Make the space information distribution map (robot map) showing the propriety of migration of an every place point from the function which sees from a robot and can judge the possibility of migration from the generation Hara map of a robot map.

[0016] (3) Emphasize the generation robot map of an improper mobility distribution map proper, and generate the space information distribution map (improper mobility distribution map) which can judge

danger in the ease of carrying out of migration of a robot.

[0017] (4) Compound the suction force which the inclination and target point of a generation improper mobility distribution map of a potential force Fig. were made to generate at an every place point, and generate a potential force Fig.

[0018] (5) A curve is drawn in accordance with the potential force which goes to a target point from a trajectory generation start point, and let this be an orbit.

[0019] Hereafter, the detail of the five steps of above-mentioned trajectory generation procedures is explained with reference to drawing 1. Drawing 1 (a) - (e) supports the trajectory generation procedure of above-mentioned (1) - (5).

(1) ON ** of the Hara map -- this Hara map is map information which human being gives to a robot, and is a map of the form which human being can understand. This map information has two information shown below.

[0020] (a) Geographical feature height information $z_i = h$ to the two-dimensional plane coordinates $(x_i$ and $y_i)$ shown in drawing 2 (a) $(x_i$ and $y_i)$

(b) Attribute information Attr which shows of what kind of property the location shown with the above-mentioned coordinate $(x_i$ and $y_i)$ is a thing (a crest $(x_i$ and $y_i)$, a slope, a level difference, a river, a pond, a slot, a cliff, a desert, common, a start point, a target point, etc. are included)

The above-mentioned attribute information is an attribute [in / on / in / as shown in drawing 2 (b) / an outdoor environment / a crest, a pond, a penetration prohibited area, a dangerous-substance laying-under-the-ground area, a desert (sands) and an inside-of-a-house environment, and / the location $(x_i$ and $y_i)$ of a stairway, a wall, an off-limits area, etc.] [0021].

[Equation 1]

$$\text{Attr} (x_i, y_i) \in a_1, a_2, \dots, a_n$$

Physical / un-physical information on the location is expressed in the form to say. Moreover, the information on the above (a) and (b) is expressed as follows as a vector.

[0022]

[Equation 2]

$$M(x_i, y_i) = \begin{bmatrix} h(x_i, y_i) \\ \text{Attr}(x_i, y_i) \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

[0023] Drawing 1 (a) is what showed the Hara map 11, and two crests 12 and ponds 13 exist between the start point A and the target (goal) point B including two crests (slope land) 12, a pond 13, and a level difference 14 as attribute information.

[0024] Above-mentioned crest 12 x (x_i and y_i)

$$= \text{hexp} \{ -(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 / d^2 \} \quad \dots (2)$$

** -- the width of face d of center position $(x_0$ and $y_0)$ and height [of a crest] h and the foot of a crest is set up like.

[0025] (2) Perform conversion for robot map human being's view of the world (form which a robot can understand) of a robot from a view of the world (form which human being can understand), and extract map information required for migration of a robot. That is, the function f for view-of-the-world conversion is made to act to the information in the above-mentioned Hara map 11, as shown in a degree type, and the robot map vector $R_m(x_i$ and $y_i)$ is generated.

[0026]

$$R_m(x_i, y_i) = f(M(x_i, y_i)) \quad \dots (3)$$

The robot map 21 which this shows to drawing 1 (b) is generated. In this robot map 21, 22 is the skew-ratio information on the slant face in a crest 12. A wheel mold, a crawler mold, and a foot type are considered as a

robot's migration format here. In each migration format, information required for migration is shown below.
 [0027] (a) The height of the level difference and slot which a wheel robot wheel can overcome serves as a wheel radius at the maximum. Moreover, when reaching a slant face, gravity must be opposed, and a limitation is in the skew ratio which can carry out a climb. Therefore, when considering a wheel robot's migration capacity, the skew-ratio information 22 in the slant face of a crest 12 and the information over a level difference 14 are required. Therefore, the attribute of the skew ratio shown by the following (4) formulas, the level difference shown by (5) formulas, and the geographical feature shown by (6) formulas is memorized as information.

[0028]

[Equation 3]

$$P = \frac{\partial Z(r)}{\partial r} \quad \dots (4)$$

$$H = H_{\text{step}}(r) \quad \dots (5)$$

$$\text{Attr}(r) \in \{\text{普通, 崖, 池, 進入禁止, } \dots\} \quad \dots (6)$$

[0029] However, geographical-feature height H in inclination vector Z(r):r of a location P:slant face of the arbitration on r:map: Level difference height Hstep(r) : The function Attr which returns the level-difference height in the location r of arbitration (r): It is the attribute information on the geographical feature in the location r of arbitration.

[0030] (b) While a crawler robot crawler robot graduates the irregularity of the ground by the crawler, in order to run, concavo-convex small information and level difference information are not related. It is defined with the configuration of a crawler, a rake angle, a pitch, etc. whether it can get over to the irregularity of how much and a level difference. Here, in order to clarify a difference with other robots, a level difference is assumed to be what can be overcome and considers only the skew-ratio information 22. Therefore, let the attribute of the skew ratio shown by the above-mentioned (4) formula, and the geographical feature shown by (6) formulas be the information on the robot map 21.

[0031] (c) The skew-ratio range which does not reverse a foot robot foot robot with the movable skew-ratio range by constraint of the movable range of a foot, either is specified. Therefore, since the skew-ratio information 22 serves as an important index, let the attribute of the skew ratio shown by the above-mentioned (4) formula, and the geographical feature shown by (6) formulas be the information on the robot map 21.

[0032] In addition, tilt angle theta of the slant face of the inclination vector P of a slant face to the location $\text{Theta} = \tan^{-1}(|\text{IP}|) \dots (7)$

It comes out and asks.

[0033] (3) Emphasize the information on the generation above-mentioned robot map 21 of an improper mobility distribution map according to each robot's capacity, and generate the improper mobility distribution map 31 shown in drawing 1 (c). That is, to the above-mentioned crest 12, the level difference improper mobility 34 is shown to the attribute improper mobility 33 and a level difference 14 to the skew-ratio improper mobility 32 and a pond 13. The above-mentioned improper mobility distribution map 31 is a kind of potential, and the magnitude means the difficulty of carrying out of migration of a robot. That is, it means that a robot cannot go there easily, so that improper mobility is large. As for each robot, the maximum climb skew ratio is prescribed by the capacity. The tilt angle for which it asked with the robot map 21 sets infinity to the field exceeding a robot's maximum climb angle, and the field which must not be come into using attribute information. Hereafter, a setup of the improper mobility according to a robot's migration format is explained.

[0034] (a) The propriety of the migration of a wheel robot in improper mobility 34 level difference by the wheel robot i. level difference is decided by whether the height of a level difference 14 is large compared

with the radius of a wheel, or small. That is, possible level difference threshold Hmax to overcome What is necessary is just to make it binary. It is Ustep about the level difference improper mobility 34. If it carries out, it will carry out like a degree type and will be made binary.

[0035]

[Equation 4]

$$U_{step} = \begin{cases} \infty, & \text{for } H \geq H_{max} \\ 0, & \text{for } H < H_{max} \end{cases} \quad \dots (8)$$

[0036] The tilt angle theta of the improper mobility 32 robot map 21 by ii. skew ratio is emphasized. The tilt angle theta is maximum climb angle thetamax. Improper mobility becomes large, so that it approaches, and it is theta >= theta max. The following formulas are used so that it may become infinite. the skew-ratio improper mobility 32 -- Uslope ** -- if it carries out Uslope = tan {(90 degrees / thetamax) - theta} -- (9) It becomes.

[0037] Since a robot must not go there, as for the case of a pond or a penetration keepout area etc., the attribute data of the improper mobility 33 robot map 21 by the iii. attribute sets up the value of infinity. If attribute improper mobility 33 is set to Uattr, it will set up like a degree type.

[0038]

[Equation 5]

$$U_{attr} = \begin{cases} \infty, & \text{for } Attr \neq normal \\ 0, & \text{for } Attr = normal \end{cases} \quad \dots (10)$$

[0039] And the above (i) (ii) (iii), Each improper mobility Ustep Uslope and Uattr are superimposed like a degree type and the improper mobility distribution map 31 is generated.

$U = U_{step} + U_{slope} + U_{attr} \dots (11)$

(b) By the crawler robot in the example of crawler robot **, since the level difference is assumed to be what can be overcome as described above, generate the improper mobility distribution map 31 from the skew-ratio improper mobility (Uslope) 32 and the attribute improper mobility (Uattr) 33.

[0040]

$U = U_{slope} + U_{attr} \dots (12)$

(c) Set up the foot robot skew-ratio improper mobility (Uslope) 32 as follows.

[0041]

[Equation 6]

$$U_{slope} = \tan (K \cdot \theta) \quad \dots (13)$$

$$\text{ただし、} K = \begin{cases} 0, & \text{for } \theta < 0.75 \cdot \theta_{max} \\ \frac{90^\circ}{\theta_{max}}, & \text{for } \theta \geq 0.75 \cdot \theta_{max} \end{cases}$$

[0042] The improper mobility distribution map 31 is generated as well as a crawler robot from the skew-ratio improper mobility (Uslope) 32 and the attribute improper mobility (Uattr) 33. For the active suspension capacity which a foot has, a foot robot can move like the flat ground, when a skew ratio is not tight. Here, temporarily, the same migration as the flat ground can be performed, and after it, 75% of the maximum climb inclination is performing the same potential setup as a crawler and a wheel robot noting that a walk becomes difficult gradually. The rest generates the improper mobility distribution map 31 from the

skew-ratio improper mobility 32 and the attribute improper mobility 33 like a crawler robot.

[0043] (4) potential force generation -- here, as shown in drawing 1 (d), generate potential force drawing 41 in quest of the potential force 42. In this drawing, 43 shows the migration improper field corresponding to the above-mentioned skew-ratio improper mobility 32 and the attribute improper mobility 33.

[0044] The above-mentioned potential force 42 is like the flow of the force of tending toward a target. As potential for that, the solution (it is henceforth called the Laplace potential) of Laplace's differential equation is used. This potential is widely known as a solution of a diffusion equation or a heat conduction equation, and the numerical calculation algorithm is also studied well. It is mentioned that potential does not take extremal value as a description of the Laplace potential in the field with which are satisfied of a Laplace equation. If heat conduction is considered for an example, at the point without ** and an endoergic point, heat is flowing in the direction of an algorithm, without stopping at one point. Therefore, if the migration direction of heat is followed, it will surely follow and stick to an endoergic point.

[0045] If it thinks with the application of this to this invention, the source of generation of heat will be the migration improper field 43, and a heat sink will serve as the target point B. This is called the potential force 42 by the reason that flow which does not have the minimal value toward the target point B is made from the migration improper field 43. It is very convenient that there is no minimal value, and it guarantees surely reaching the target point B, without an orbit **** by somewhere. The procedure of acquiring the potential force 42 is shown below.

[0046] (a) In the improper mobility distribution map 31 shown in binary-ized above-mentioned drawing 1 (c), the field of infinity is the migration improper field 43 which a robot cannot come into, and the set-up value is the movable field 44, although the difference of extent has the remaining part. Thus, it divides into two fields of the 44/migration improper field 43 of movable fields.

(b) It is application Laplace's differential equation [0047] about Laplace's differential equation.
[Equation 7]

$$\Delta \Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_n^2} = 0 \quad \dots (14)$$

ただし、 $\Phi = \Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$

を差分化すると、以下の式を得る。

$$\Phi_{i,j}^{(n)} = \frac{1}{4} \left(\Phi_{i,j-1}^{(n-1)} + \Phi_{i,j+1}^{(n-1)} + \Phi_{i-1,j}^{(n-1)} + \Phi_{i+1,j}^{(n-1)} \right) \quad \dots (15)$$

$\Phi_{i,j}^{(n)}$ は、

In the lattice points i and j, it is the calculated value of the potential acquired by n-th repetition count. The first boundary condition gives negative value phigoal to the migration improper field 43 at the forward value phi 0 and the target point B. Moreover, it is phi 0 also to the movable field 44 as initial condition of repetition count. It gives. At first, the target point B is low and starts all other fields from the same height. And the potential of the low level (low level) of the target point B spreads in all the corners of a field by repeating equalization actuation of the above-mentioned (15) formula at all the points of the movable field 44. And count is ended in the place where the flow emitted from the migration improper field 43 and the flow absorbed at the target point B were balancing mostly.

[0048] (c) Search for a potential field gradient in each lattice point which searches for the potential field gradient of each lattice point. The inclination of potential is [0049] when f is made into the potential force 42.
[Equation 8]

$$f = -\frac{\partial \Phi}{\partial r} \quad \dots (16)$$

It comes out and asks.

[0050] (5) Draw a curve in accordance with the potential force 42 which goes to the target point B obtained in trajectory generation each lattice point, and generate the orbit 51 shown in drawing 1 (e). The lattice point in two-dimensional space as shown in drawing 3 (i, j), (i+1, j), potential force f_s i (x y) of the point (x y) in the field surrounded by (i, j+1), and (i+1, j+1), and j f_s i (x y) and j = -- f_i and j (i(i+1-x)+1-y) + f_i+1, j (x-i)(j+1-y) + $f_i, j+1$ (i+1-x)(y-j) + f_i+1 and j+1 (y-j (x-i)) -- (17)

It comes out and asks.

[0051] Here, i and j are the coordinate of the point nearest to a zero, and f_i and j among the four lattice points of a positive grid field including a point (x y). It is the potential force acquired by processing of potential force generation of the above (4).

[0052] And if the potential force of Point S can be found as shown in drawing 4, an orbit will be advanced until it runs against a gridline. How to search for the point P_{next} of having run against this gridline is explained below.

[0053] It is the position vector of the above-mentioned point S and the lattice point of the surroundings containing it P_S, P_1, P_2, P_3 , and P_4 If it carries out $P_S + t f_S = (1-s) P_i + s P_{i+1}$ -- (18)

It becomes. Here, it is f_S . $P_i - P_{i+1}$ It is [0054] if the 1st order is independent.

[Equation 9]

$$\begin{bmatrix} t \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_s & P_1 - P_{i+1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_i - P_s \end{bmatrix} \quad \dots (19)$$

It becomes. Moreover, if $t \geq 0$ and $0 \leq s \leq 1$ are filled at the time of $i = 1$, the point of P_{next} can be found from $P_{next} = t f_S + P_S$. If conditions are not fulfilled, it carries out by $i = 2$, and 3 and 4. $P_5 = P_1$ [however, j] it is .

[0055] The orbit 51 of the robot from the start point A to [bypasses an obstruction as mentioned above and] the target point B is generable. In this case, the orbit 51 with few detours is generated as a wheel mold -> crawler mold -> foot type and a robot's migration capacity become high.

[0056]

[Effect of the Invention] As a full account was given above, while being able to perform a robot's trajectory generation in existing three-dimension-environments, such as boom hoisting of a crest and a slant face, and a level difference, a pond, according to this invention, trajectory generation according to the difference in the migration capacity resulting from a robot's migration format can be performed.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing showing the orbital generation method of the mobile robot concerning one example of this invention.

[Drawing 2] The conceptual diagram of a trajectory generation lot Fig. in this example.

[Drawing 3] The explanatory view for searching for the potential force within the lattice point in this example.

[Drawing 4] The explanatory view for searching for the next point of the orbit in this example.

[Drawing 5] Drawing showing the orbital generation method of the mobile robot in the conventional two-dimensional flat surface.

[Drawing 6] Drawing showing the orbital generation method of the mobile robot in a two-dimensional flat surface with the conventional wall.

[Description of Notations]

11 Hara Map

12 Crest 12

13 Pond

14 Level Difference

21 Robot Map

22 Skew-Ratio Information

31 Improper Mobility Distribution Map

32 Skew-Ratio Improper Mobility

33 Attribute Improper Mobility

34 Level Difference Improper Mobility

41 Potential Force Fig.

42 Potential Force

43 Migration Improper Field

44 Movable Field

51 Orbit

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The 1st step which inputs the space information distribution with the geographical feature of the Hara map, and an obstruction into a robot, The 2nd step which generates the robot map showing the propriety of migration of an every place point from the function which sees from a robot based on the information on the above-mentioned Hara map, and can judge the possibility of migration, The 3rd step which generates the improper mobility distribution which emphasizes the above-mentioned robot map proper and can judge danger in the case of carrying out of migration of a robot, The 4th step which compounds the suction force which the improper mobility information inclination and target point in the above-mentioned improper mobility distribution were made to generate at an every place point, and generates a potential force, The orbital generation method of the mobile robot characterized by providing the 5th step which draws a curve in accordance with the potential force which goes to the above-mentioned target point from a start point, and makes this an orbit.

[Claim 2] The orbital generation method of the mobile robot according to claim 1 characterized by computing the potential force in the 4th step of the above using the solution of Laplace's differential equation based on the improper mobility information in the above-mentioned improper mobility distribution.

WRITTEN AMENDMENT

[a procedure revision]

[Filing Date] August 17, Heisei 6

[Procedure amendment 1]

[Document to be Amended] Specification

[Item(s) to be Amended] 0024

[Method of Amendment] Modification

[Proposed Amendment]

[0024] The above-mentioned crest 12,

$x(x_i, y_i)$

$= \text{hexp} \{ -(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 / d^2 \} \quad \text{-- (2)}$

** -- the width of face d of center position (x_0 and y_0) and height [of a crest] h and the foot of a crest is set up like.

[Procedure amendment 2]

[Document to be Amended] Specification

[Item(s) to be Amended] 0032

[Method of Amendment] Modification

[Proposed Amendment]

[0032] In addition, the tilt angle θ of the slant face of the inclination vector P of a slant face to the location

$\theta = \tan^{-1} (|P|) \quad \text{-- (7)}$

It comes out and asks.

[Procedure amendment 3]

[Document to be Amended] Specification

[Item(s) to be Amended] 0044

[Method of Amendment] Modification

[Proposed Amendment]

[0044] The above-mentioned potential force 42 is like the flow of the force of tending toward a target. As potential for that, the solution (it is henceforth called the Laplace potential) of Laplace's differential equation is used. This potential is widely known as a solution of a diffusion equation or a heat conduction equation, and the numerical calculation algorithm is also studied well. It is mentioned that potential does not take extremal value as a description of the Laplace potential in the field with which are satisfied of a Laplace equation. If heat conduction is considered for an example, heat is flowing at the point without ** and an endoergic point, without stopping at one point. Therefore, if the migration direction of heat is followed, it will surely follow and stick to an endoergic point.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-22324

(43) 公開日 平成8年(1996)1月23日

(51) Int.Cl.*	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 D	1/02	H		
B 2 5 J	5/00	E		
	9/10	A		
G 0 5 B	19/4093			
			G 0 5 B 19/ 403	E
			審査請求 未請求	請求項の数 2 O L (全 8 頁)
(21) 出願番号	特願平6-153799			
(22) 出願日	平成6年(1994)7月5日			
(71) 出願人	000006208 三菱重工株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号			
(72) 発明者	大道 武生 兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目1番1号 三菱重工株式会社高砂研究所内			
(72) 発明者	福家 康隆 兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目1番1号 三菱重工株式会社高砂研究所内			
(72) 発明者	林 辰憲 兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目1番1号 三菱重工株式会社高砂研究所内			
(74) 代理人	弁理士 鈴江 武彦			

(54) 【発明の名称】 移動ロボットの軌道生成方法

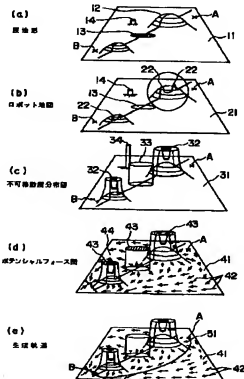
(57) 【要約】

【目的】 山の起伏や段差、池等の存在する3次元的環境でのロボットの軌道生成、並びにロボットの移動能力の違いに応じた軌道生成を可能とする。

【構成】 次に示す(1)～(5)の5段階の手順で移動ロボットの軌道生成を生成する。(1)ロボットへ地形、障害物をもった原地図11の空間情報分布を入力する。

(2)原地図11より、ロボットから見て移動の可能性を判断できる関数から各地点の移動の可否を示すロボット地図21を作る。(3)ロボット地図21を適正に強調して、ロボットの移動のし易さ、危険度を判断できる不可移動度分布図31を生成する。(4)不可移動度分布図31の勾配と目標地点Bに発生させた吸引力を各地点で合成してポテンシャルフォース図41を生成する。

(5)ポテンシャルフォース図41において、移動不可領域43から目標地点Bに向かうポテンシャルフォース42に沿って曲線を引き、これを軌道51とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロボットへ原地図の地形、障害物を持った空間情報分布を入力する第1のステップと、上記原地図の情報に基づきロボットから見て移動の可能性を判断できる関数から各地点の移動の可否を示すロボット地図を生成する第2のステップと、

上記ロボット地図を適正に強調して、ロボットの移動のし易さ、危険度を判断できる不可移動度分布を生成する第3のステップと、

上記不可移動度分布における不可移動度情報勾配と目標地点に発生させた吸引力を各地点で合成してポテンシャルフォースを生成する第4のステップと、

スタート地点から上記目標地点に向かうポテンシャルフォースに沿って曲線を引き、これを軌道とする第5のステップとを具備したことを特徴とする移動ロボットの軌道生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、移動ロボットの軌道生成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、移動ロボットの軌道を生成する場合、図5、図6に示すように2次元平面領域1の中でロボットの能力に関係なく、障害物2の存在領域に人為的に適当な数値（ポテンシャル）を設定し、これに基づいてスタート地点Aから目標地点Bまでの軌道3をラプラスの方程式を用いて求めている。なお、図5は障害物2が複数個所に点在している場合、図6は障害物2が壁である場合の例を示したものである。

【0003】 この方法は、軌道生成の対象領域が2次元平面領域1のように2次元平面に限られており、屋外環境における山の起伏等の3次元の領域を考慮していない。また、障害物2に対して、ロボットが移動可能かどうかの判断は人間が行ない、移動不可能と判断されれば、適当な数値を人為的に定め、障害物2の存在領域に設定している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来の軌道生成方法は、屋外に代表されるような3次元的な環境（山、スロープ、崖、段差、池、川等の存在する環境）での軌道生成は不可能である。また、障害物の部分に人為的に一定のポテンシャルを設定し、ポテンシャルの低い方向にロボットが進むような軌道の作り方をしているため、軌道はロボットの能力に関係なく全てのロボットに対して同じものが生成され、移動能力の高いロボットがわざ

わざ障害物を大きく迂回してしまう軌道が生成される不具合があった。

【0005】 本発明は上記実情に鑑みてなされたもので、山、斜面の起伏や、段差、池等の存在する3次元的環境でロボットの軌道生成を行ない得ると共に、ロボットの移動様式に起因する移動能力の違いに応じた軌道生成を行ない得る移動ロボットの軌道生成方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る移動ロボットの軌道生成方法は、ロボットへ原地図の地形、障害物を持った空間情報分布を入力する第1のステップと、上記原地図の情報に基づきロボットから見て移動の可能性を判断できる関数から各地点の移動の可否を示すロボット地図を生成する第2のステップと、上記ロボット地図を適正に強調して、ロボットの移動のし易さ、危険度を判断できる不可移動度分布を生成する第3のステップと、上記不可移動度分布における不可移動度情報勾配と目標地点に発生させた吸引力を各地点で合成してポテンシャルフォースを生成する第4のステップと、スタート地点から上記目標地点に向かうポテンシャルフォースに沿って曲線を引き、これを軌道とする第5のステップとを具備したことを特徴とする。

【0007】

【作用】

（1）第1のステップ（原地図の入力）

原地図は、人間がロボットに對し与える情報で、人間が理解できる形の地図であり、任意の点 (x_i, y_i) における高さ情報 $h(x_i, y_i)$ と、その位置がどのような性質のものであるかを記す属性情報 $Attr(x_i, y_i)$ を持っている。スタート地点、目標地点の情報も、属性情報の中に入れられる。

【0008】（2）第2のステップ（ロボット地図の生成）

人間の世界観（人間の理解できる形）からロボットの世界観（ロボットが理解できる形）への変換を施し、ロボットが移動のために必要な情報を抽出してロボット地図を生成する。

【0009】（3）第3のステップ（不可移動度分布の生成）

上記ロボット地図生成の段階でロボットの移動に必要な情報を抽出したが、これはロボットの持つ能力に対して、どれくらい移動しにくいものであるかの評価がなされている。

【0010】 従って、このステップは各々のロボットの能力を基準に、抽出した情報がどれくらい移動しにくいものかを評価し、数値化して不可移動度分布を生成する。ロボットの移動のしにくさを示す数値が不可移動度である。

【0011】（4）第4ステップ（ポテンシャルフォ

スの生成)

上記不可移動度分布で設定された数値分布に演算を施すことにより、移動不可領域から目標地点に至る流れの場、即ち、ポテンシャルフォースを生成する。

【0012】(5) 第5ステップ(軌道の生成)

上記のポテンシャルフォース生成処理において生成された流れの場をスタート地点から、その流れに沿ってたどっていき、その軌跡を線で結ぶことによりスタート地点から目標地点へ至る経路、つまり、ロボットの軌道を生成する。

【0013】上記(1)～(5)の手順により、山、斜面等の起伏や、段差、池等の存在する3次元的環境でロボットの軌道を生成でき、また、ロボットの移動様式に起因する移動能力の違いに応じた軌道を生成することができる。

【0014】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の一実施例を説明する。本発明に係る移動ロボットの軌道生成方法は、次の(1)～(5)に示す5段階の軌道生成手順からなり、CPU等の演算処理装置を用いて軌道生成を行なう。

【0015】(1) 原地図の入力

ロボットへ地形、障害物をもった空間情報分布(原地図)を入力する。

(2) ロボット地図の生成

原地図より、ロボットから見て移動の可能性を判断できる関数から各地点の移動の可否を示す空間情報分布図(ロボット地図)を作る。

【0016】(3) 不可移動度分布図の生成

ロボット地図を適正に強調して、ロボットの移動のし易さ、危険度を判断できる空間情報分布図(不可移動度分布図)を生成する。

【0017】(4) ポテンシャルフォース図の生成
不可移動度分布図の勾配と目標地点に発生させた吸引力を各地点で合成してポテンシャルフォース図を生成する。

【0018】(5) 軌道生成

スタート地点から目標地点に向かうポテンシャルフォー

$$x(x_i, y_i)$$

$$= \text{hexp} \{ -((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2) / d^2 \} \dots (2)$$

のように中心位置 (x_0, y_0) 、山の高さ h 、山のすそ野の幅 d が設定される。

【0025】(2) ロボット地図

人間の世界観(人間の理解できる形)からロボットの世界観(ロボットが理解できる形)への変換を施し、ロボ

$$Rm(x_i, y_i) = f(M(x_i, y_i)) \dots (3)$$

これにより図1(b)に示すロボット地図21が生成される。このロボット地図21において、22は、山12における斜面の斜度情報である。ここでロボットの移動様式として車輪型、クローラ型、脚型を考える。それぞ

* スに沿って曲線を引き、これを軌道とする。

【0019】以下、上記5段階の軌道生成手順の詳細について、図1を参照して説明する。図1(a)～(e)は、上記(1)～(5)の軌道生成手順に対応している。

(1) 原地図の入力

この原地図は、人間がロボットに対して与える地図情報であり、人間が理解できる形の地図である。この地図情報は、以下に示す2つの情報を持っている。

10 【0020】(a) 図2(a)に示す2次元平面座標 (x_i, y_i) に対する地形高さ情報 $z_i = h(x_i, y_i)$

(b) 上記座標 (x_i, y_i) で示される位置がどのような性質のものであるかを示す属性情報 $Attr(x_i, y_i)$ (山、スロープ、段差、川、池、溝、崖、砂漠、普通、スタート地点、目標地点等を含む)

上記属性情報は、図2(b)に示すように屋外環境においては、山、池、進入禁止区域、危険物埋設区域、砂漠(砂地)、屋内環境においては階段、壁、立入禁止区域等の位置 (x_i, y_i) における属性

20 【0021】

【数1】

$$Attr(x_i, y_i) \in a_1, a_2, \dots, a_n$$

という形でその場所の物理的/非物理的情報を表現する。また、上記(a)、(b)の情報をベクトルとして以下のように表現する。

【0022】

【数2】

$$30 \quad M(x_i, y_i) = \begin{bmatrix} h(x_i, y_i) \\ Attr(x_i, y_i) \end{bmatrix} \dots (1)$$

【0023】図1(a)は、原地図11を示したもので、属性情報として例えば2つの山(傾斜地)12、池13、段差14を含み、スタート地点Aと目標(ゴール)地点Bとの間に2つの山12と池13が存在している。

【0024】上記山12は、

* ヲットが移動のために必要な地図情報を抽出する。即ち、次式に示すように上記原地図11における情報に対し、世界観変換のための関数 f を作用させて、ロボットマップベクトル $Rm(x_i, y_i)$ を生成する。

【0026】

これらの移動様式において、移動に必要な情報を次に示す。

【0027】(a) 車輪ロボット

車輪が乗り越えられる段差、溝の高さは最大で車輪半径となる。また、斜面を登るときは重力に逆らわなければ

ならず、登坂できる斜度に限界がある。従って、車輪ロボットの移動能力を考える上で、山12の斜面における斜度情報22、段差14に対する情報が必要である。よって、次の(4)式で示される斜度、(5)式で示される段差、(6)式で示される地形の属性を情報として記憶しておく。

【0028】

【数3】

$$P = \frac{\theta Z(r)}{\theta r} \quad \dots (4)$$

$$H = Hstep(r) \quad \dots (5)$$

$$Attr(r) \in \{\text{普通, 池, 進入禁止, } \dots\} \quad \dots (6)$$

【0029】ただし、

r : 地図上の任意の位置

P : 斜面の傾斜ベクトル

Z(r) : rにおける地形高さ

H : 段差高さ

Hstep(r) : 任意の位置 r における段差高さを返す関数 * 20

$$\theta = \tan^{-1}(\|P\|)$$

で求められる。

【0033】(3) 不可移動度分布図の生成

上記ロボット地図21の情報を各々のロボットの能力に応じて強調し、図1(c)に示す不可移動度分布図31を生成する。即ち、上記山12に対しては、斜度不可移動度32、池13に対しては属性不可移動度33、段差14に対しては段差不可移動度34を示す。上記不可移動度分布図31は、一種のポテンシャルであり、その大きさは、ロボットの移動のしにくさを意味する。すなわち、不可移動度が大きいほどロボットがそこへ行きにくいことを意味する。各々のロボットは、その能力により最大登坂斜度が規定される。ロボット地図21で求めた傾斜角が、ロボットの最大登坂角を越える領域と、属性※

$$Ustep = \begin{cases} \infty, & \text{for } H \geq H_{\max} \\ 0, & \text{for } H < H_{\max} \end{cases} \quad \dots (8)$$

【0036】ii. 斜度による不可移動度32

ロボット地図21の傾斜角 θ を強調する。傾斜角 θ が最大登坂角 θ_{\max} に近づくほど不可移動度が大きくなり、★

$$Uslope = \tan^{-1}((90^\circ / \theta_{\max}) \cdot \theta) \quad \dots (9)$$

となる。

【0037】iii. 属性による不可移動度33

ロボット地図21の属性データが、池や進入禁止領域の場合などは、そこにロボットは行っていないので、☆

$$Uattr = \begin{cases} \infty, & \text{for } Attr \neq \text{normal} \\ 0, & \text{for } Attr = \text{normal} \end{cases} \quad \dots (10)$$

* Attr(r) : 任意の位置 r における地形の属性情報である。

【0030】(b) クローラロボット

クローラロボットは、クローラで地面の凹凸を平滑化しながら走行するため、小さな凹凸情報、段差情報は関係ない。どのくらいの凹凸、段差まで乗り越えられるかはクローラの形状、すくい角、ピッチ等によって定められる。ここでは、他ロボットとの差異を明らかにするため、段差は乗り越えられるものと仮定し、斜度情報22のみを考える。よって、上記(4)式で示される斜度、(6)式で示される地形の属性をロボット地図21の情報とする。

【0031】(c) 脚ロボット

脚ロボットも、脚の可動範囲の制約により、移動可能な斜度範囲と転倒しない斜度範囲が規定される。よって、斜度情報22が重要な指標となるので、上記(4)式で示される斜度、(6)式で示される地形の属性をロボット地図21の情報とする。

【0032】なお、斜面の傾斜ベクトルPからその位置の斜面の傾斜角 θ は、

$$\dots (7)$$

※ 情報により立ち入ってはならない領域には ∞ を設定する。以下、ロボットの移動様式に応じた不可移動度の設定について説明する。

【0034】(a) 車輪ロボット

i. 段差による不可移動度34

段差における車輪ロボットの移動の可否は、段差14の高さが車輪の半径に比べ、大きい小さいかで決まる。つまり、乗り越えの可能な段差しきい値 H_{\max} で2値化すれば良い。段差不可移動度34を $Ustep$ とすると、次式のようにして2値化する。

【0035】

【数4】

★ $\theta \geq \theta_{\max}$ で無限大となるように、以下の式を用いる。

斜度不可移動度32を $Uslope$ をとすると、

☆ ∞ の値を設定する。属性不可移動度33を $Uattr$ とすると、次式のように設定する。

【0038】

【数5】

7

【0039】そして、上記(i), (ii), (iii)のそれぞれ
の不可移動度Ustep、Uslope、Uattrを次式のように*

$$U = U_{step} + U_{slope} + U_{attr}$$

(b) クローラロボット

この例におけるクローラロボットでは、上記したように
段差は乗り越えられるものと仮定しているため、斜面※

$$U = U_{slope} + U_{attr}$$

(c) 脚ロボット

斜面不可移動度(Uslope) 32を以下のように設定す
る。

$$U_{slope} = \tan(K \cdot \theta) \quad \star 10 \quad \dots (13)$$

$$\text{ただし、} K = \begin{cases} 0, & \text{for } \theta < 0.75 \cdot \theta_{\max} \\ 90^\circ, & \text{for } \theta \geq 0.75 \cdot \theta_{\max} \\ \theta_{\max}, & \end{cases}$$

【0042】クローラロボットと同じく、斜面不可移動
度(Uslope) 32と属性不可移動度(Uattr) 33より
不可移動度分布図31を生成する。脚ロボットは、脚
の持つ能動的懸架能力のため、斜面がきつくないところ
では、平地と同様に移動できる。ここでは、仮に最大登
坂傾斜の75%までは平地と同様の移動ができ、それ以
降は、歩行が次第に困難になってくるとして、クロー
ラ、車輪ロボットと同様のポテンシャル設定を行って
いる。あとはクローラロボットと同様に斜面不可移動度
32と属性不可移動度33より不可移動度分布図31を
生成する。

【0043】(4) ポテンシャルフォース生成

ここでは、図1(d)に示すようにポテンシャルフォ
ース42を求めてポテンシャルフォース図41を生成す
る。同図において、43は上記斜面不可移動度32、属
性不可移動度33に対応した移動不可領域を示してい
る。

【0044】上記ポテンシャルフォース42とは、目標
に向かう力の流れのようなものである。そのためポテ
ンシャルとして、ラプラスの微分方程式の解(以後、ラ
プラスポテンシャルという)を用いる。このポテンシャ
ルは拡散方程式や熱伝導方程式の解として広く知られ、
数値計算アルゴリズムも良く研究されている。ラプラス
ポテンシャルの特徴として、ラプラス方程式を満足する
領域内でポテンシャルが極値を取らないことが挙げられ
る。熱伝導を例に考えると、発、吸熱点が無い点では、
熱は一点に留まることなく、アルゴリズム方向に流れて
いく。従って、熱の移動方向をたどっていけば、必ず吸
熱点にたどり着ける。

【0045】これを本発明に適用して考えると、発熱源
は移動不可領域43で、吸熱源が目標地点Bとなる。
移動不可領域43から、目標地点Bに向かって極小値の無
い流れができるわけで、これをポテンシャルフォース4

8

*に重畳して不可移動度分布図31を生成する。

$$\dots (11)$$

※可移動度(Uslope) 32と属性不可移動度(Uattr)
33より不可移動度分布図31を生成する。

【0040】

$$\dots (12)$$

★【0041】

【数6】

2と呼ぶ。極小値が無いことは非常に都合が良いこと
で、軌道がどこかで停留することなく、必ず目標地点B
に至ることを保証するものである。以下にポテンシャル
フォース42を得る手順を示す。

【0046】(a) 2値化

上記図1(c)に示した不可移動度分布図31におい
て、設定した値が∞の領域はロボットが立ち入れない移
動不可領域43であり、残りの部分は程度の差はあるが
移動可能領域44である。このように、移動可能領域4
4/移動不可領域43の2つの領域に分ける。

(b) ラプラスの微分方程式を適用

ラプラスの微分方程式

【0047】

【数7】

$$\Delta \Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_n^2} = 0 \quad \dots (14)$$

ただし、 $\Phi = \Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$

を差分化すると、以下の式を得る。

$$\Phi_{i,j}^{(n)} = -\frac{1}{4} \left(\Phi_{i,j-1}^{(n-1)} + \Phi_{i,j+1}^{(n-1)} + \Phi_{i-1,j}^{(n-1)} + \Phi_{i+1,j}^{(n-1)} \right)$$

$$\dots (15)$$

$\Phi_{i,j}^{(n)}$ は、

格子点i, jにおいて、n回目の繰返し計算によって得
られたポテンシャルの計算値である。最初の境界条件は
移動不可領域43に正の値 Φ_0 、目標地点Bに負の値 Φ
goalを与える。また、繰返し計算の初期条件として移動
可能領域44にも、 Φ_0 を与える。最初は目標地点Bだ
けが低く、他の領域はすべて同じ高さからスタートす
る。そして、移動可能領域44のすべての点に上記(1
5)式の平均化操作を繰り返すことにより、目標地点B

のローレベル (low level) のポテンシャルが領域の隅々に傳播していく。そして、移動不可領域 43 から発せられる流れと、目標地点 B で吸い込まれる流れがほぼ平衡になったところで計算を終了する。

【0048】(c) 各格子点のポテンシャル場の勾配を求める

各格子点において、ポテンシャル場の勾配を求める。f をポテンシャルフォース 42 とすると、ポテンシャルの勾配は

【0049】

【数8】

$$\begin{aligned} f_s(x, y) i, j &= f i, j (i+1-x) (i+1-y) \\ &+ f i+1, j (x-i) (j+1-y) \\ &+ f i, j+1 (i+1-x) (y-j) \\ &+ f i+1, j+1 (x-i) (y-j) \quad \dots (17) \end{aligned}$$

で求められる。

【0051】ここで、i, j は、点 (x, y) を含む正格子領域の4つの格子点の内でも原点に近い点の座標、f i, j は、上記(4)のポテンシャルフォース生成の処理で得られたポテンシャルフォースである。

【0052】そして、図4に示すように、点 S のポテン

$$PS + t fS = (1-s) P1 + s P i+1 \quad \dots (18)$$

となる。ここで、fS と P i - P i+1 が 1 次独立であれば、

$$\begin{bmatrix} t \\ s \end{bmatrix} = [fS \quad P i - P i+1]^{-1} [P1 - Ps]$$

… (19)

となる。また、i = 1 のとき t ≥ 0 かつ 0 ≤ s ≤ 1 を満たせば、Pnext の点は

$$Pnext = t fS + P S$$

より求まる。条件を満たさなければ、i = 2, 3, 4 で行なってみる。ただし、P5 = P1 である。

【0055】上記のようにして障害物を迂回してスタート地点 A から目標地点 B に至るロボットの軌道 51 を生成することができる。この場合、車輪型→クローラ型→脚型と、ロボットの移動能力が高くなるにつれて、迂回の少ない軌道 51 が生成される。

【0056】

【発明の効果】以上詳記したように本発明によれば、山、斜面の起伏や、段差、池等の存在する 3 次元的環境でロボットの軌道生成を行ない得ると共に、ロボットの移動様式に起因する移動能力の違いに応じた軌道生成を行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る移動ロボットの軌道生成方法を示す図。

【図2】同実施例における軌道生成用地図の概念図。

【図3】同実施例における格子点内のポテンシャルフォースを求めるための説明図。

$$* f = - \frac{\partial \Phi}{\partial r}$$

… (16)

で求められる。

【0050】(5) 軌道生成

各格子点で得られた目標地点 B に向かうポテンシャルフォース 42 に沿って曲線を引き、図 1 (e) に示す軌道 51 を生成する。図 3 に示すような 2 次元空間内の格子点 (i, j), (i+1, j), (i, j+1), (i+1, j+1) で囲まれた領域内にある点 (x, y) のポテンシャルフォース f s (x, y) i, j は、

※ シャルフォースが求まると、格子線に突き当たったまで軌道を進める。この格子線に突き当たった点 Pnext を求める方法を次に説明する。

【0053】上記の点 S とそれを含むまわりの格子点の位置ベクトルを PS, P1, P2, P3, P4 とする

$$PS + t fS = (1-s) P1 + s P i+1 \quad \dots (18)$$

★ 【0054】

【数9】

【図4】同実施例における軌道の次の点を求めるための

30 説明図。

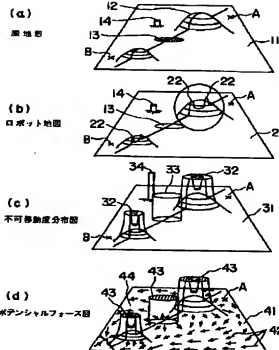
【図5】従来の 2 次元平面内での移動ロボットの軌道生成方法を示す図。

【図6】従来の壁のある 2 次元平面内での移動ロボットの軌道生成方法を示す図。

【符号の説明】

- 11 原地図
- 12 山 1 2
- 13 池
- 14 段差
- 40 21 ロボット地図
- 22 斜度情報
- 31 不可移動度分布図
- 32 斜度不可移動度
- 33 属性不可移動度
- 34 段差不可移動度
- 41 ポテンシャルフォース図
- 42 ポテンシャルフォース
- 43 移動不可領域
- 44 移動可能領域
- 50 51 軌道

【図1】

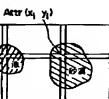
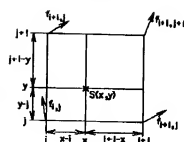


【図2】



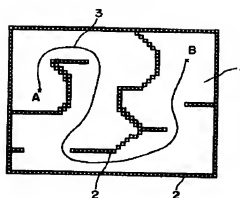
(a) 地形の高さ情報

【図3】

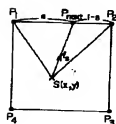


(b) 地図の隣接情報

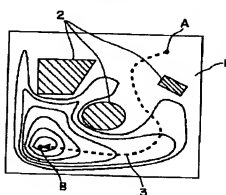
【図6】



【図4】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成6年8月17日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

* 【補正方法】変更

【補正内容】

【0024】上記出12は、

*

$$x(x_i, y_i)$$

$$= \exp \{ -((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2) / d' \} \dots (2)$$

のように中心位置 (x0, y0)、山の高さ h、山のすそ野の幅 d が設定される。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

$$\theta = \tan^{-1} (\|P\|)$$

で求められる。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

【0044】上記ポテンシャルフォース 42 とは、目標に向かう力の流れのようなものである。そのためのポテンシャルとして、ラプラスの微分方程式の解（以後、ラ

* 【補正方法】変更

【補正内容】

【0032】なお、斜面の傾斜ベクトル P からその位置の斜面の傾斜角 θ は、

*

… (7)

プラスポテンシャルという)を用いる。このポテンシャルは拡散方程式や熱伝導方程式の解として広く知られ、数値計算アルゴリズムも良く研究されている。ラプラスポテンシャルの特徴として、ラプラス方程式を満足する領域内でポテンシャルが極値を取らないことが挙げられる。熱伝導を例に考えると、発、吸熱点が無い点では、熱は一点に留まることなく流れている。従って、熱の移動方向をたどっていけば、必ず吸熱点にたどり着ける。